

- превышение дополнительной кромки над основной  $\Delta \approx (0,045 \dots 0,1)D$ ;
- угол положения дополнительной кромки  $\rho = 16^\circ$
- угол  $\mu_1$  дополнительной кромки  $5^\circ \dots 7^\circ$
- коэффициент глубины стружечной канавки дополнительной кромки  $K_H$  в пределах  $0,8 \dots 1$ .

При этом можно исключить один переход, а именно черновое зенкерование (рассверливание), получистовое или чистовое зенкерование (черновое развертывание) с сохранением качества обработанных отверстий, присущим этим операциям.

#### Список литературы

1. Нормативы для технического нормирования работ на сверлильных станках. М.: Машгиз, 1958. 200 с.
2. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением: Часть II. Нормативы режимов резания. - М.: Экономика. 1990.
3. Справочник инструментальщика. /Под общей редакцией Ординарцева И.А. Л.: Машиностроение, 1987. - 846 с.

#### УДК 321.914

**Н.С. Равська, д.т.н., проф., Л.І. Ковальова, к.т.н., доцент, Р.П. Родін, к.н.т., с.н.с.  
НТУ України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна**

### **ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ЗРІЗУ ВЗДОВЖ РІЗАЛЬНОЇ КРОМКИ ІНСТРУМЕНТУ**

*В статье проанализированы зависимости расчета толщин среза при резании, возможность расчета по ним толщин среза вдоль режущей кромки, предложена общая зависимость определения толщин среза вдоль режущей кромки. На примере загрузки режущих кромок сверла проведен сравнительный анализ толщин среза, рассчитанных по рассматриваемым зависимостям.*

*In the article dependences of calculation of thicknesses of cut are analysed at cutting, possibility to on by him calculation to on by him thicknesses of cut along a cutting edge, general dependence of determination of thicknesses of cut is offered along a cutting edge. On the example of load of cuttings edges of drill the comparative analysis of thicknesses of cut is conducted expected on the examined dependences.*

#### *Вступ.*

Завантаження різальної частини суттєво впливає на працездатність різального інструменту. При заданій схемі зрізування припуску завантаження того чи іншого інструменту при обробці відомого матеріалу характеризується величиною швидкості різання  $\bar{V}$  і товщиною зрізу  $a$  в різних точках різальної кромки [1]. Ступінь завантаження різальної кромки впливає на інтенсивність зносу інструменту та, відповідно, на його стійкість і продуктивність оброблення.

Для багатьох інструментів швидкість різання залежить від розташування досліджуваної точки різальної кромки. Тому впливати на зміну завантаження вздовж різальної кромки за рахунок зміни швидкості  $\bar{V}$  у таких інструментів не має можливості. В цьому випадку виникає задача розробки конструкцій інструменту з покращеними характеристиками завантаження вздовж кромки. Для вирішення цієї задачі необхідно перш за все мати точні залежності для визначення  $a$  в будь-якій точці різальної кромки. Саме аналіз існуючих залежностей для розрахунку товщин зрізу вздовж різальної кромки і на цій основі визначення загальної залежності для розрахунку  $a$  в процесі різання розглядається в цій роботі.

Загальна залежність визначення товщини зрізу вздовж різальної кромки.

В теорії різання матеріалів [2] та теорії різання інструментів [1, 3] розглядаються для визначення товщини зрізу наступні залежності:

$$a = S \cdot \sin \varphi, \quad (1)$$

та 
$$a = \frac{(\bar{N} \cdot \bar{S})}{|\bar{N}|}, \quad (2)$$

де  $S$  - подача на оберт чи на зуб;

$\varphi$  - головний інструментальний кут в плані;

$\bar{N}$  - нормаль до поверхні різання.

Аналіз цих формул показує, що точне значення товщини зрізу, розраховане за формулою (1) буде тільки при  $\lambda = 0$ . В цьому випадку в кожній точці різальної кромки товщина зрізу не змінюється. Розрахунок товщин зрізу за формулою (2) в рівній мірі відображає значення  $a$  як при  $\lambda \neq 0$ , так і  $\lambda = 0$ .

Аналіз розрахунків, проведених за цими формулами для випадку  $\lambda = 0$  показує їх ідентичність. Таким чином, можна стверджувати, що при відомому в кожній точці різальної кромки головному куті  $\varphi_i$  в рівній мірі можна користуватись формулами (1) та (2).

В теорії проектування різального інструменту при визначенні кута  $\varphi$  не враховується, в якій координатній системі цей вектор визначається, тобто практично цей аналіз проводиться тільки в інструментальній системі, яка приймається для того чи іншого інструменту з міркувань зручності виготовлення та контролю.

Зважаючи на те, що стандартом ДСТУ 2248-93 регламентовані поряд з інструментальною системою координат статична та кінематична, які відповідно зорієнтовані відносно швидкості головного та результуючого руху різання, розглядаються статична і кінематична площини різання ( $P_{nc}$ ,  $P_{nk}$ ) та статичний і кінематичний головний кут в плані ( $\varphi_c$ ,  $\varphi_k$ ) в досліджуваній точці різальної кромки.

В зв'язку з цим повстає задача визначення загальної залежності для розрахунку  $\varphi_i$  в будь-якій точці різальної кромки незалежно від системи координат.

Базуючись на визначенні головного кута в плані для будь-якої точки різальної кромки (згідно зі стандартом, це кут в основній площині між площиною різання і

робочою площиною) та використовуючи положення векторної алгебри [4], можна записати:

$$\cos \varphi = \frac{(\bar{N}_{Pn} \cdot \bar{N}_S)}{|\bar{N}_{Pn}| \cdot |\bar{N}_S|}, \quad (3)$$

де  $\bar{N}_{Pn}$  - вектор нормалі до поверхні різання, що визначений в відповідній системі координат;

$\bar{N}_S$  - вектор нормалі до робочої площини.

Вектор нормалі  $\bar{N}_{Pn}$  до поверхні різання визначається вектором  $\bar{P}$ , дотичним до різальної кромки в досліджуваній точці, та вектором  $\bar{V}$  і буде векторним добутком зазначених векторів:

$$\bar{N}_{Pn} = [\bar{P} \times \bar{V}]. \quad (4)$$

Вектор нормалі до робочої площини, що визначається векторами  $\bar{V}$  і  $\bar{S}$ , буде:

$$\bar{N}_S = [\bar{V} \times \bar{S}]. \quad (5)$$

Після визначення за формулами (4) і (5)  $\bar{N}_{Pn}$  та  $\bar{N}_S$ , формула (1) набуває загальний вигляд:

$$a_c = S \cdot \sin(\arccos \frac{(\bar{N}_{Pn} \cdot \bar{N}_S)}{|\bar{N}_{Pn}| \cdot |\bar{N}_S|}). \quad (6)$$

В залежності від того, в якій системі координат розглядається площина різання, можна знаходити нормалі до інструментальної, статичної та кінематичної площини різання, та відповідно статичний і кінематичний кут різання.

На прикладі аналізу завантаження різальної частини спірального свердла розглянемо зміну товщини зрізу вздовж його різальної кромки.

Аналіз завантаження різальної частини спірального свердла.

В процесі різання свердло обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю  $\omega$  і переміщується прямолінійно поступально вздовж своєї осі з подачею  $S$ . Швидкість головного руху різання  $\bar{V}$  в будь-якій точці різальної кромки буде:

$$V = \omega \cdot R_x = \frac{\pi R_x n}{500} \text{ м/хв.},$$

де  $R_x$  - радіус досліджуваної точки різальної кромки свердла;

$n$  - число обертів свердла за хвилину.

За визначенням згідно стандарту ДСТУ 2248-93 товщина зрізу  $a$  це довжина нормалі до поверхні різання, проведена через точку різальної кромки, що розглядається, обмежену перерізом зрізуваного шару. Так як розглядаються інструментальна, статична та кінематична площини різання, то в кожній системі координат розглядається, відповідно, і значення кута  $\varphi$ , яке призводить до відмінності значення  $a$ . В роботі [3] за поверхню різання при свердлінні без врахування подачі для підрахунку товщини зрізу використовується формула (1) та (3):

$$a = \frac{S}{2} \cdot \frac{\sin \varphi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \mu \cdot \cos^2 \varphi}}, \quad (7)$$

де  $\sin \mu = \frac{0,5d}{R_x}$ ;  $d$  - діаметр серцевини свердла.

Формула (7) виведена із умови прямолінійної різальної кромки свердла, яка має місце для свердел з головним кутом  $\varphi=60^\circ$ .

При переточках, тобто при зміні кута спірального свердла, різальна кромка буде криволінійною [5], і користування формулою (7) буде давати наближені значення  $a$ . Тому виникає питання аналізу розбіжностей значень між  $\varphi_i$ ,  $\varphi_c$  та  $a$  вздовж різальної кромки свердла, розрахованих відповідно за формулами (7) та (2) і (6) для  $a$ ,  $a_c$ .

Товщина зрізу залежить від кута  $\varphi$  та кута  $\mu$  [3], який в свою чергу залежить від діаметра серцевини свердла. Для свердла з діаметром серцевини  $d=0,15D$  вплив кута при вершині на товщину зрізу  $a$  при різних кутах  $\varphi$ , одержаних після переточки спірального свердла з  $\omega=30^\circ$ , наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Зміна значень товщини зрізу вздовж різальної кромки розрахованих при  $\varphi_i$  та  $\varphi_c$

$\frac{R_x}{R_x}$	$\varphi_i$ , град.	$a = \frac{S}{2} \cdot \frac{\sin \varphi_i}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \mu \cdot \cos^2 \varphi_i}}$	$\varphi_c = \arccos \frac{(\bar{N}_{Pn} \cdot \bar{N}_S)}{ \bar{N}_{Pn}  \cdot  \bar{N}_S }$ , град	$a_c = \frac{S}{2} \cdot \varphi_c$
1	60	0,432	59,72	0,432
0,8		0,431	59,55	0,431
0,6		0,429	59,19	0,429
0,4		0,424	58,09	0,424
0,2		0,377	48,88	0,377
0,2	90	0,5	90	0,5
1	80	0,492	80,24	0,493
0,8		0,492	80,18	0,493
0,6		0,492	80,04	0,493
0,4		0,491	79,6	0,492
0,2		0,483	75,58	0,484
1	40	0,352	43,55	0,344
0,8		0,35	43,36	0,343
0,6		0,348	42,95	0,341
0,4		0,34	41,71	0,333
0,2		0,270	32,45	0,268
1	35	0,285	32,56	0,269
0,8		0,283	32,39	0,268
0,6		0,281	32,02	0,265
0,4		0,272	30,91	0,257
0,2		0,21	23,13	0,196
1	15	10,67	0,128	0,093
0,8		10,62	0,127	0,092
0,6		10,47	0,126	0,091
0,4		10,04	0,121	0,087
0,2		7,2	0,09	0,06

Аналіз таблиці 1 показує, що у свердел з прямолінійною різальною кромкою, яку мають стандартні свердла з  $\varphi = 60^\circ$ , відношення  $a/S$  відповідає стандартному куту при вершині. Тому значення товщини зрізу, розраховані за формулою (2) і (6) співпадають. При кутах  $\varphi > 60^\circ$  спостерігається незначне збільшення товщини зрізу, що розраховано за формулою (6) в порівнянні зі значеннями одержаними за формулою (2), а при переточках з  $\varphi < 60^\circ$  спостерігається незначне зменшення  $a$ . На основі цього та аналізу даних можна стверджувати, що при переточці стандартного свердла під кутом  $\varphi_i > 60^\circ$  одержуємо випуклу різальну кромку, а при  $\varphi_i < 60^\circ$  вогнуту. Пояснюється це в одному випадку збільшенням кута  $\mu$ , який характеризує напрям вектора швидкості головного руху, а в другому його зменшенням.

Слід також відзначити, що зменшення кута  $\varphi$  при переточках стандартного спірального свердла в більшій мірі впливає на значення  $\varphi_c$  в точках різальної кромки інструменту. Крім того, встановлено, що при підстановці в формули (1) та (2) замість  $\varphi = 60^\circ$  кута  $\varphi_c$  значення товщини зрізу  $a$ , розраховані за формулами (2) і (6), співпадають.

Це показує, що по структурі ці формули відповідають  $a = S \cdot \sin \varphi_c$ , тобто розрахунок товщин зрізу треба проводити з врахуванням  $\varphi_c$ .

#### **Зміна завантаження по довжині різальної кромки свердла.**

В роботі [3] з врахуванням впливу тільки товщини зрізу та швидкості головного руху при умові постійної стійкості свердла  $T = const$  виведена залежність теоретичної товщини зрізу для різних точок його різальних кромки.

$$a_T = \left( \frac{R}{R_x} \right)^z \cdot a.$$

Враховуючи що дійсна товщина зрізу визначається за формулою (6). В цій же роботі введено поняття коефіцієнта завантаження різних точок різальної кромки інструмента в процесі свердління, значення якого визначається за формулою:

$$K = \frac{a_i}{a_T \cdot a},$$

де  $a_i$  – зріз в досліджуваній точці різальної кромки, визначений за формулою (6);

$a$  – товщина зрізу на периферії стандартного свердла з  $\varphi = 60^\circ$ .

В таблиці 2 наведені коефіцієнти завантаження в різних точках різальної кромки з різними значеннями  $\varphi$ , одержаними після переточок стандартного свердла.

Аналіз таблиці 2 показує, що при переточках стандартного свердла з  $\varphi = 60^\circ$ , змінюючи кут при вершині  $\varphi$ , можна впливати на завантаження різальної кромки по довжині.

Так, в практиці розповсюджена подвійна заточка свердел, при котрій кут  $\varphi = 60^\circ$ , а на периферії створюється додаткова різальна кромка довжиною  $0,2D$ , що відповідає

точці свердла  $\frac{R_x}{R} \approx 0,9 \div 0,85$  з кутом  $\varphi_i = 35 \div 37,5^\circ$ . У таких свердел коефіцієнт завантаження на периферії в порівнянні з центральною зоною не в 25 разів більше, а тільки в 7,8 рази, тобто з такими параметрами подвійної заточки коефіцієнт завантаження менше майже в 3÷4 рази. При такій заточці свердел  $\varnothing 12\text{мм}$ . при обробці звичайної конструкційної сталі досягнуто підвищення стійкості до 2,5÷3 рази, а при обробці чавуна в 3÷5 раз.

Таблиця 2

Зміна коефіцієнта завантаження по довжині різальних кромки стандартного свердла після переточки з різними  $\varphi$ .

$\frac{R_x}{R}$	$\left(\frac{R_x}{R}\right)^2$	$\varphi$ , град.												
		15	25	35	37,5	45	52,5	60	65	70	75	80	85	90
1	1	0,215	0,425	0,623	0,669	0,797	0,908	1,0	1,05	1,09	1,12	1,14	1,15	1,16
0,9	1,235	0,173	0,344	0,504	0,541	0,645	0,735	0,809	0,849	0,88	0,9	0,924	0,934	0,937
0,8	1,563	0,137	0,271	0,397	0,426	0,509	0,58	0,639	0,67	0,696	0,716	0,73	0,738	0,741
0,7	2,046	0,104	0,206	0,303	0,325	0,388	0,443	0,488	0,513	0,533	0,548	0,559	0,565	0,567
0,6	2,778	0,076	0,15	0,221	0,238	0,284	0,324	0,358	0,376	0,391	0,402	0,41	0,415	0,417
0,5	4	0,052	0,103	0,152	0,63	0,196	0,224	0,248	0,26	0,271	0,279	0,285	0,288	0,289
0,45	4,94	0,042	0,083	0,122	0,131	0,157	0,181	0,2	0,21	0,219	0,226	0,231	0,233	0,234
0,4	6,25	0,032	0,064	0,095	0,102	0,123	0,42	0,157	0,166	0,173	0,178	0,182	0,184	0,85
0,35	8,16	0,024	0,048	0,071	0,077	0,093	0,117	0,119	0,126	0,132	0,136	0,139	0,141	0,142
0,3	11,11	0,017	0,034	0,051	0,055	0,067	0,077	0,087	0,032	0,096	0,1	0,102	0,104	0,104
0,2	25	0,006	0,012	0,018	0,02	0,025	0,03	0,035	0,038	0,041	0,043	0,045	0,046	0,046

Таким чином, можна стверджувати, що коефіцієнт завантаження вздовж різальної кромки свердла, може служити розрахунково опосередкованим параметром, характеризуючим працездатність цього інструменту.

### Висновки.

В роботі розглянуті загальні питання визначення товщини зрізу будь-якого інструменту в різних точках різальної кромки. Доведено, що товщина зрізу вздовж різальної кромки визначається, крім подачі, статичним кутом в плані  $\varphi_c$  для випадку, коли геометрія розглядається в статичній системі координат, або кінематичним кутом  $\varphi_k$  – в кінематичній системі координат.

Показано, що за рахунок зміни кутів  $\varphi$  вздовж різальної кромки при переточках спірального свердла, можна створювати конструкції свердел з практично рівномірним завантаженням різальної кромки.

## Список літератури

1. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов [для инженерно-технических работников, аспирантов и студентов вузов] [Текст]: учеб. для студентов машиностроительных специальностей / П.Р. Родин – К.: Высш. шк. 1990. – 421с.: ил. – Библиогр.: с.421. – 10000 экз.
2. Грановский Г.И. Резание материалов [для инженерно-технических работников, аспирантов и студентов вузов, специализирующихся в области динамики и металлообработки]: учеб. для вузов / Г.И. Грановский. – М.: Высш. шк. 1985. – 304 с.: ил. – Библиогр.: с.298-304. – 80000 экз.
3. Родин П.Р. Геометрия режущей части спирального сверла [для научных, инженерно-технических работников научно-исследовательских институтов, проектных и промышленных предприятий, занимающихся проектированием и эксплуатацией спиральных сверл, преподавателей и студентов машиностроительных вузов]: учеб. для студентов машиностроительных специальностей / П.Р. Родин – К.: «Техника». 1971. – 134с.: ил. – Библиогр.: с.134. – 1300 экз.
4. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике [для инженерно-технических работников, аспирантов и студентов вузов]: справочник для вузов / М.Я. Выгодский. – М.: Наука. 1965. – 872 с.: ил. – Библиогр.: с.872. – 300000 экз.

УДК 621.983

**В.І.Стеблюк, д-р техн.наук, О.В.Калюжний, канд.техн.наук,  
НТУ України “Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна**

### **ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ РОЗРАХУНКАХ ПРОЦЕСІВ ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ**

*В НТУУ «КПІ» розробтан спеціалізований пакет програм на базі метода кінцевих елементів, який був доповнений рядом теоретических и програмних модулів, що дозволило розширити область применения пакета на операции листовой штамповки. Полученный программный продукт позволяет с высокой степенью точности проводить расчеты процессов листовой штамповки. Приведены примеры расчетов технологических процессов получения пустотелых изделий со сложным профилем стенок и дна.*

*In NTUU «KPI» the specialized software package on the basis of a finite element method is developed, which has been added by several theoretical and program modules that has allowed expanding an area of application on sheet-metal forming operation. The received software product allows to do calculations of processes of a sheet-metal forming with an exactitude high scale. There are reduced examples of calculations of technological processes of manufacture of hollow articles with an intricate shape of walls and a bottom.*

**Вступ.** В сучасних умовах перед розробником новітніх технологій в галузі листового штампування постають дві важливі задачі. З одного боку в умовах конкуренції розробка технології та сам технологічний процес повинні складатись з мінімальної кількості переходів, що обумовлено показниками економії матеріальних, трудових та часових ресурсів. З іншого боку сучасні вимоги до матеріалів та якості нових виробів не дозволяють використовувати традиційні підходи до проектування технологічних процесів, які базуються на виробничому досвіді та експериментальному відпрацюванні. Для вирішення поставлених задач все частіше використовують математичне моделювання, яке реалізоване в ряді універсальних комерційних пакетів (ANSYS, LS-DYNA, FastForm, DynaForm, NASTRAN, COSMOS, ABAQUS та інші). Але, попри всі переваги, дані програми мають один суттєвий недолік: для роботи з